1

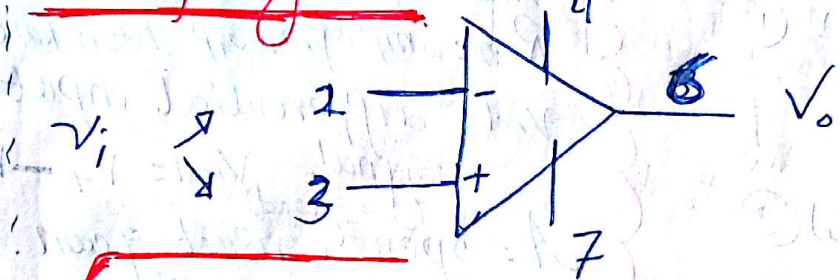
sec # (1)

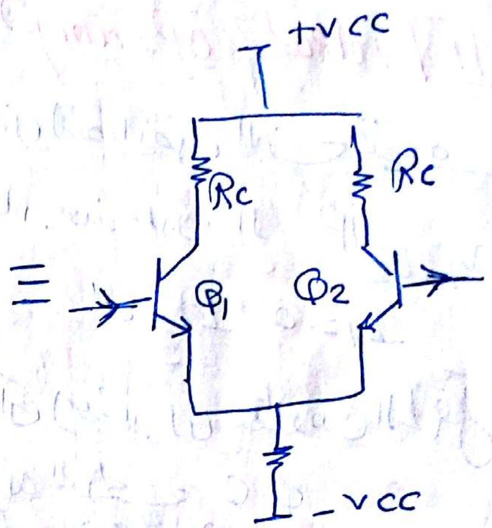
operational amplifier

operational amplifier هو نوع أشهر من ال amplifier

op-Amp
- → op.amp symbol
- → " " model
- → " " types

⊛ op amp symbols

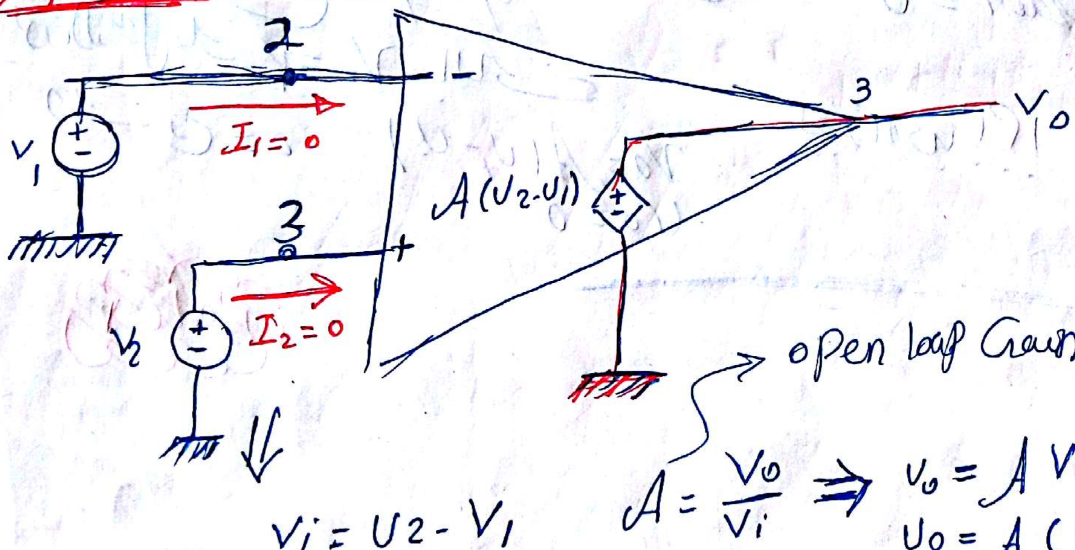




≡

op amp - Terminals
- (2) is inverting i/p Terminal
- (3) is noninverting " "
- (6) for The o/p signal
- (7) for positive DC power supply
- (4) for negative DC power supply

⊛ op-amp model



model في حال وجود source + Load في الورقة التالية

open loop Gain

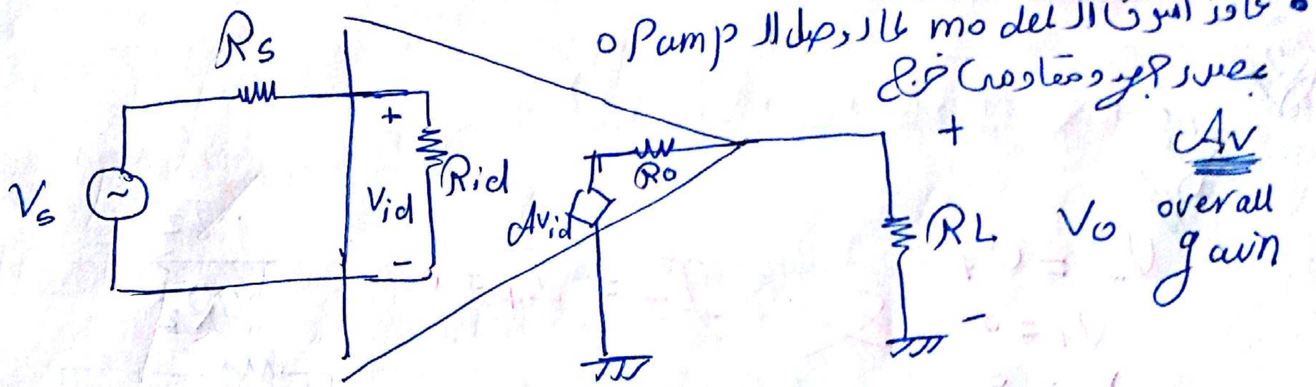
$V_i = V_2 - V_1$

$A = \frac{V_o}{V_i} \Rightarrow V_o = A V_i$

$V_o = A(V_2 - V_1)$

* من الشكل السابق يتضح أن ال op amp يكبر الفرق في i/p signals وليس ال i/p signal لذلك يسمى differential op-amp ..

*Note (1)



$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_s} * \frac{V_{id}}{V_{id}}$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_{id}} * \frac{V_{id}}{V_s}$$

~~$V_o = A V_{id} \cdot \frac{R_{id}}{R_{id}+R_s}$~~

~~$V_o = A * V_{id} *$~~

• $V_{id} = V_s * \frac{R_{id}}{R_{id}+R_s}$

$$\frac{V_{id}}{V_s} = \frac{R_{id}}{R_{id}+R_s}$$

• $V_o = A\, V_{id} \times \frac{R_L}{R_L+R_o}$

$$\frac{V_o}{A V_{id}} = \frac{R_L}{R_L+R_o}$$

$$A_v = A V_{id} \frac{R_L}{R_L+R_o} \cdot \frac{R_L}{R_L+R_o}$$

Note

عند ال input port $\quad R_{in} = \frac{V_i}{i_s} \leftarrow R_{in}$ لإيجاد

$V_{in} = 0$ & $\quad R_o = \frac{V_x}{i_x} \leftarrow R_o$ لإيجاد

عند ال o/p port

لإيجاد A_v لازم دايما محتاج اعمل analysis

مثال

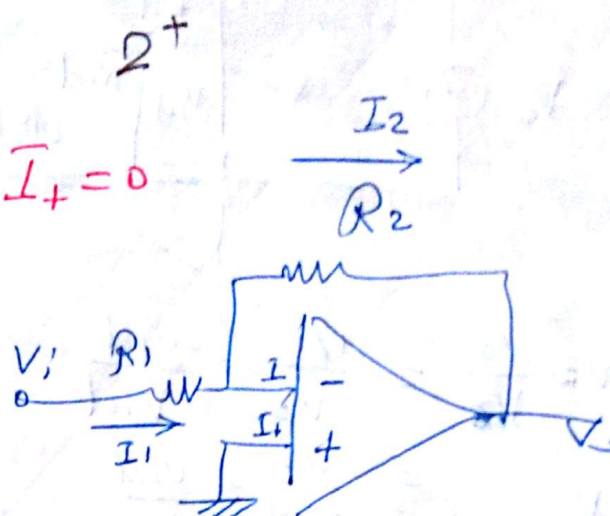
③

2^+

$V_- = V_+$

$V_+ = 0$ & $I_- = I_+ = 0$

$V_- = 0$



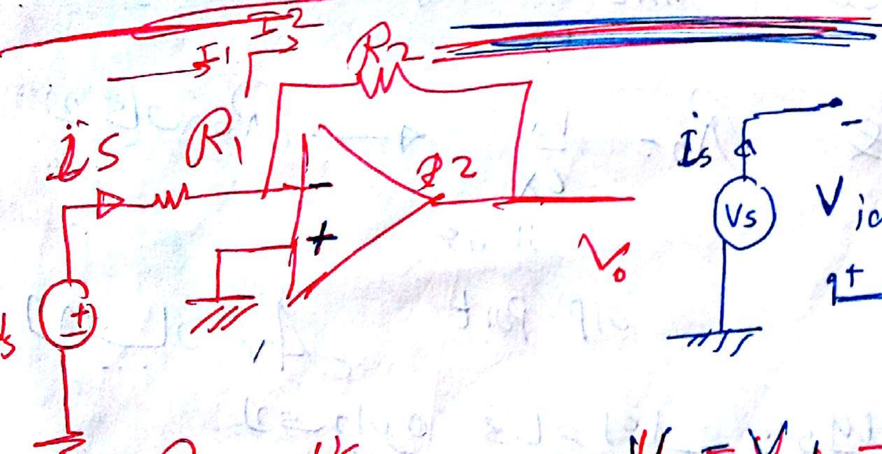
$I_1 = I_2$

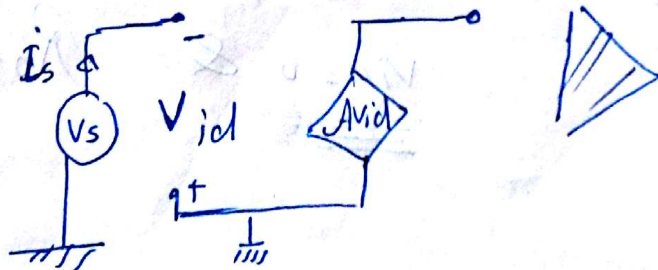
$$\frac{V_S - V_-}{R_1} = \frac{V_- - V_0}{R_2}$$

$$\frac{V_S}{R_1} = \frac{-V_0}{R_2}$$

$$V_0 = -\frac{R_2}{R_1} V_S \ \#$$

$$A = -\frac{R_2}{R_1}$$





$R_{in} = \frac{V_S}{i_S}$

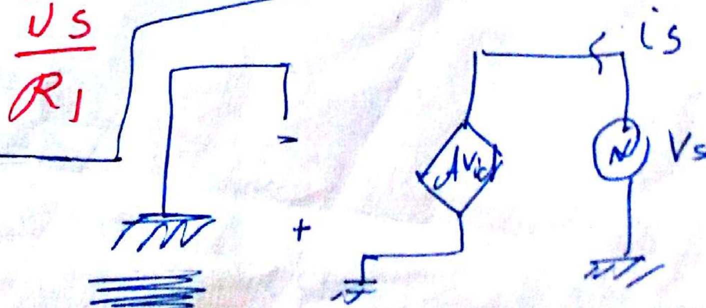
$V_- = V_+ = 0$

$I_S = I_1 = I_2$

$\frac{V_S}{R_1}$

$R_{in} = R_1$

$R_{out} = 0$



types of op-amps

ideal op-amp ⟵ ⟶ non-ideal op-amp

[1] ideal op-amp

وهناك بعض الخصائص التي تميزه

① لا يمر تيار عند طرفي الـ i/p v_1 و v_2

$I_1 = 0 \quad I_2 = 0$

② لذلك يمكن اعتبار أن مقاومة الدخل كبيرة جداً "∞" زي O.C

∴ input impedance of ideal amplifier = ∞

③ o/p impedance of ideal amplifier = 0

ودي ميزة

④ A (open loop gain) of ideal amplifier = ∞ (10^3, 10^4 ....)

$V_0 = A(V_2 - V_1)$

⑤ Bandwidth = ∞

⑥ Common-mode Gain = 0

والمقصود بيه هو الـ Gain بتاع الـ op-amp لما يكون الدخل على $V_- = V_+$ بالتالي الخرج = 0

$V_0 = A(V_+ - V_-)$

$V_0 = 0$

يعني ايه ؟!؟!

Parameters خاص بي الـ data sheet

R_{id}: input resistance.

R_0: amplifier o/p resistance

V_{id}: differential input signal $V_{id} = V_+ - V_-$

A: open load circuit gain.

الـ Gain العادي من غير أي توصيل

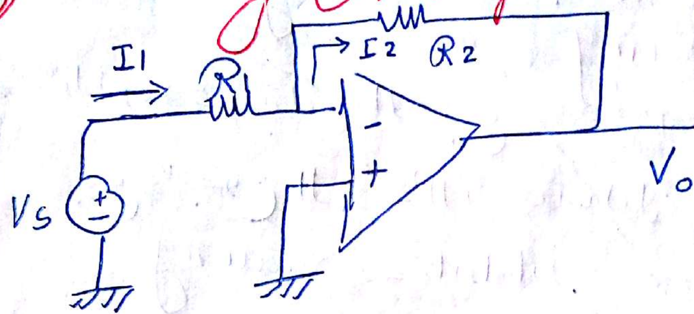
Note

Note

انواع ال ideal . op-amp

في كل نوع هانجيب R_o, R_{in}, A_v

a) inverting Amplifier



• يسمى النوع ده inverting لان الدخل على الطرف السالب لل op.amp وبالتالى فيه phase shift بين o/p & i/p = 180°

• لايجاد ال R_{in} احط مصدر V_s يطلع I_s

$R_{in} = \frac{V_s}{i_s}$

• لايجاد ال R_o احط → V_x يطلع i_x & $V_s = 0$

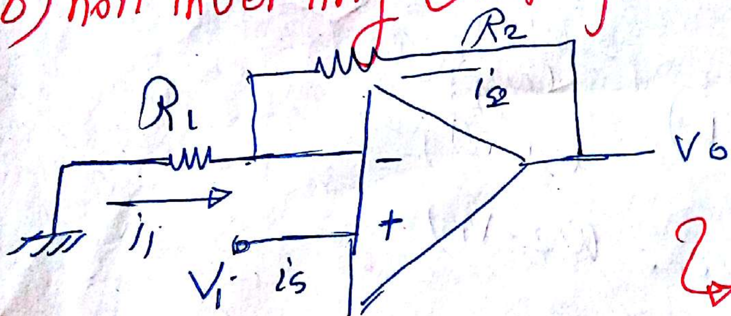
$R_o = \frac{V_x}{i_x}$

$A_v = -\frac{R_2}{R_1}$ #

$R_{in} = \frac{V_s}{I_s} = R_1$ #

$R_{out} = \frac{V_x}{i_x} = 0$ #

b) non inverting Amplifier



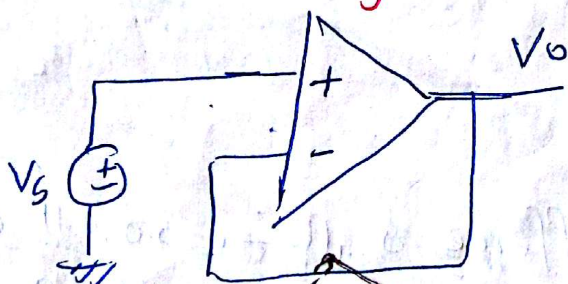
• يسمى النوع ده non-inverting g لان الخرج ستخرج هو هو الدخل inphase مع بعض

$A_v = (1 + \frac{R_2}{R_1})$ #

$R_{in} = \frac{V_i}{i_s} = \infty \quad i_- = 0$ #

$R_o = \frac{V_x}{i_x} = 0$ #

c) Buffer amplifier or unity Gain Buffer or voltage follower



$\frac{V_s}{i_s}$ → $V_s = V_-$

$V_- = V_+$

$o_f = 0$

$V_s = 0$

$R_o = 0$

الدايره دى هى هى (b) ولكن

$R_1 = \infty$

$R_2 = 0$

$A_v = 1 + \frac{0}{\infty} = 1$ #

$I_s = I_+$

$I_+ = 0$

$R_{in} = \infty$

$R_{in} = \infty$ #

$R_o = 0$

وبكده الدايره دى تعتبر

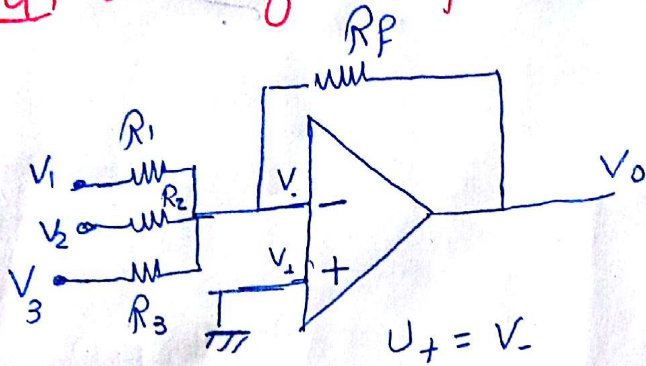
$A_v = 1$ + very high i/p R, very low o/p R

لذلك تستخدم ك Buffer

sec #(2)

operational amplifier

d) Summing amplifier or Weighted summing scalling summing.



• الدايره دى بتكلس مجموع ال i/ps بس بعد ماأعمل لها scalling الاول

هو بتجمع ال i/ps معمولها scalling :.

$U_+ = V_-$

$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \frac{R_f}{R_3} V_3\right)$$

scale for i/p signal ①, scale for i/p ②, scale for i/p ③

• ال scale ده اقدر أتحكم فيه زى ما انا عاوز

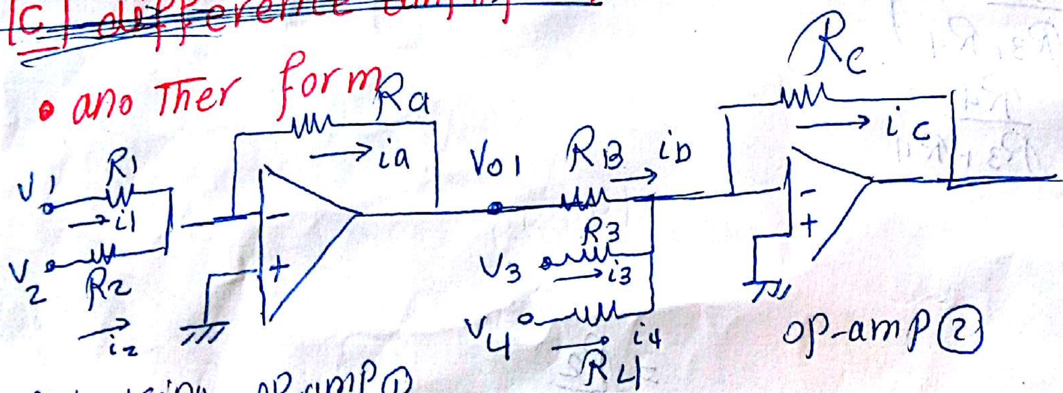
exp: if $R_1 = R_f = R_2 = R_3$

$\therefore V_o = -(V_1 + V_2 + V_3)$

problem (8), problem (7) > summing.

~~C) difference amplifier~~

• another form



by using op-amp ① super position

$$V_{o_1} = -\left[\frac{R_a}{R_1} V_1 + \frac{R_a}{R_2} V_2\right] \quad ①$$

$$V_{o_2} = -\left[\frac{R_c}{R_b} V_{o_1} + \frac{R_c}{R_3} V_3 + \frac{R_c}{R_4} V_4\right] \quad ②$$

بالتعويض

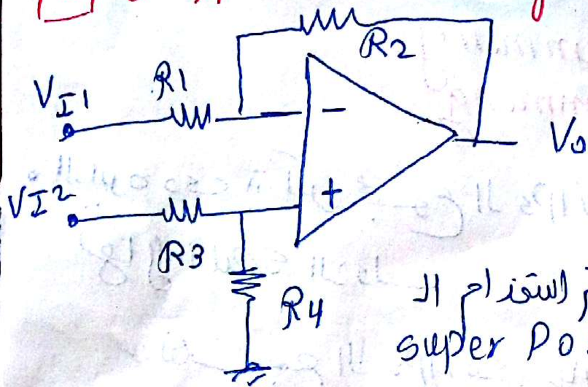
$$V_o = V_{o2} = \frac{R_c}{R_b}\frac{R_a}{R_1} V_1 + \frac{R_c}{R_b}\frac{R_a}{R_2} V_2 - \frac{R_c}{R_3} V_3 - \frac{R_c}{R_4} V_4$$

#

e difference amplifier

• تستخدم هذه الدايره لتكبير الفرق بين إشارتين

تعمل Scaling



نقر استخدام الـ super Position

• $V_{I1} = ✓$, $V_{I2} = 0$ $\Rightarrow$ $V_{o1} = -\frac{R_2}{R_1} V_{I1}$

• $V_{I1} = 0$, $V_{I2} = ✓$ $\Rightarrow$ $V_{o2} = (1 + \frac{R_2}{R_1}) V_+$

$V_{o2} = (1 + \frac{R_2}{R_1})(\frac{R_4}{R_3 + R_4})$

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_{I1} + V_{I2} (1 + \frac{R_2}{R_1}) \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad \#$$

Note

لكي تعمل هذه الدايره كـ difference between Two i/Ps signal $\Leftarrow$ لازم يتحقق الشرط ،

$$\frac{R_2}{R_1} = (1 + \frac{R_2}{R_1})(\frac{R_4}{R_3 + R_4})$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} =$$

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

لازم $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$

$$\rightarrow \therefore V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_{I1} + \frac{R_1 + R_2}{R_1} \times \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_{I2}, \quad \frac{R_4}{R_3 + R_4} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_{I1} + \frac{R_1 + R_2}{R_1} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{I2}$$

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} [V_{I2} - V_{I1}] \quad \#$$

($V_{I2} - V_{I1} = V_{Id}$)

if $R_2 = R_1$

$$V_o = V_{I2} - V_{I1} = V_{Id} \quad \#$$

→ problem (13)

f) instrumentation amplifier

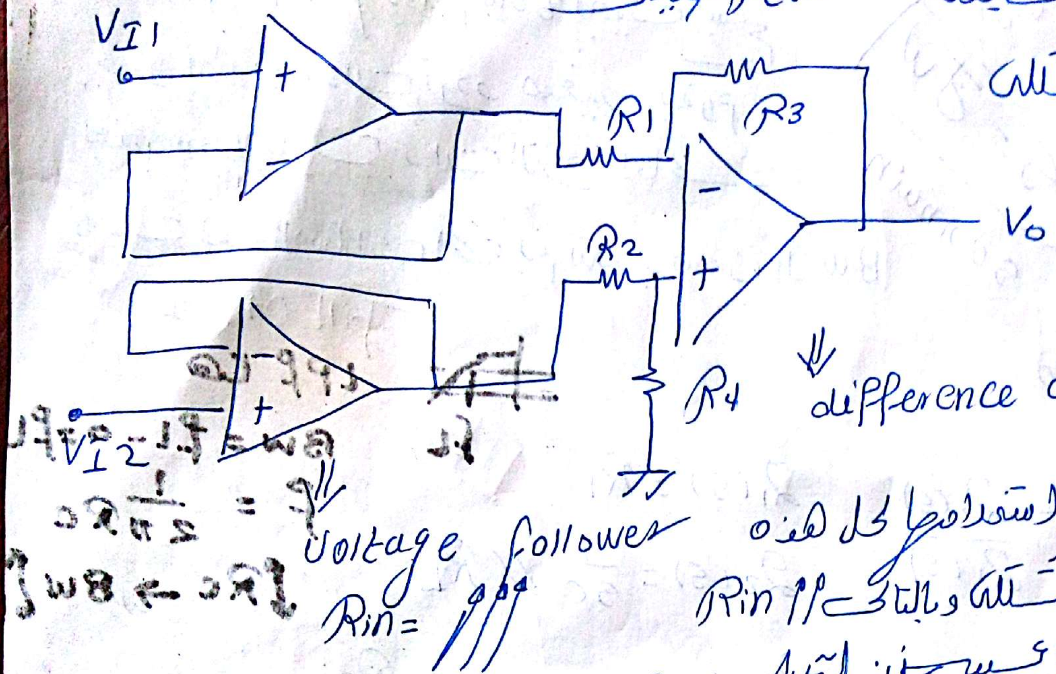
نستخدم هذه الدايره ايضاً لتكبير الفرق بين اشارتين

ولكن لان عيب الدايره السابقة صغيرة Rin

فيقوم بحل هذه المشكله

بهذه الدايره

أي ادخال الـ iIPS على follower الاول



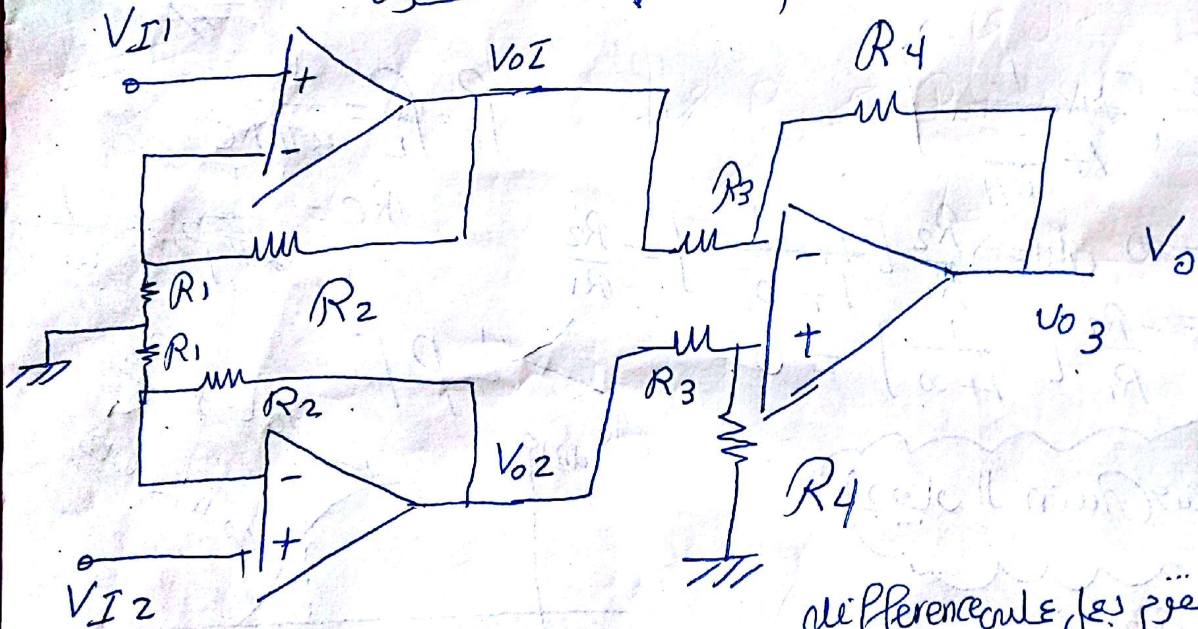
Voltage follower

$R_{in} = \infty$

نستخدمها لحل هذه المشكله وبالتالي Rin ↑↑

ولكن عيبها ان $A_V = 1$

لذلك نستخدم هذه الدائره



∴ هذه الدايره تقوم بعمل difference

و Rin ↑↑

و A اصبح كبيره

ولكن

وله

عيب هذه الدايره

$$V_{o1} = V_{I1}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$V_{o2} = V_{I2}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$V_{o3} = \frac{R_4}{R_3}\left[V_{o2}-V_{o1}\right]$$

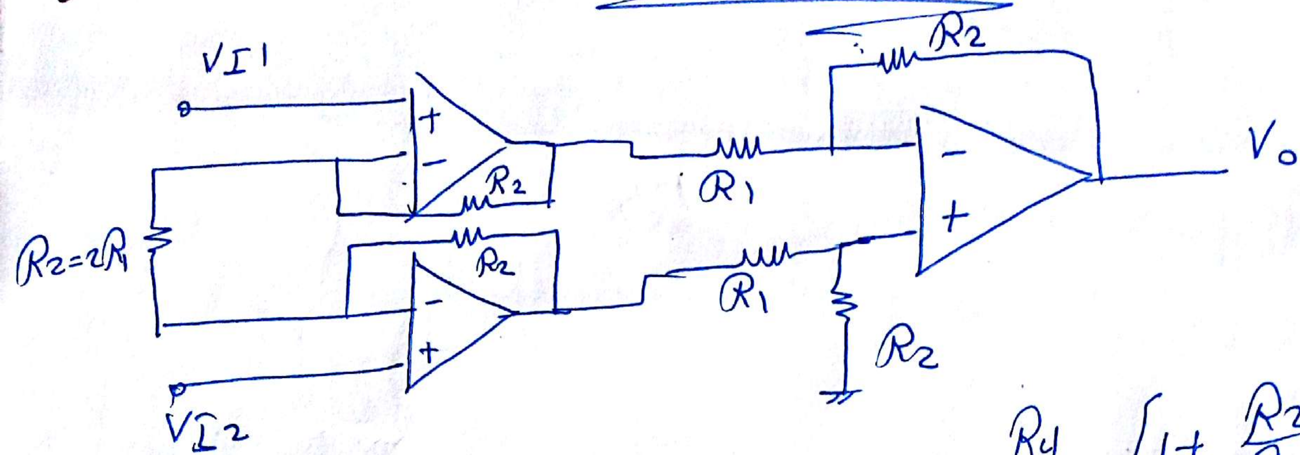
$$V_o = \frac{R_4}{R_3}\left[1+\frac{R_2}{R_1}\right]\left[V_{I2}-V_{I1}\right]$$

V_{Id}

#

- A_1, A_2 should be perfectly matching
- To varid Ad Two R have to be varid simulatous في أن واحد

حل هذه المسائل



$$V_o = -\frac{R_4}{R_3}\left[1+\frac{R_2}{R_1}\right]\left[V_1-V_2\right.$$

analysis

في كل حالة

ايجاد A_v & R_o & R_{in}

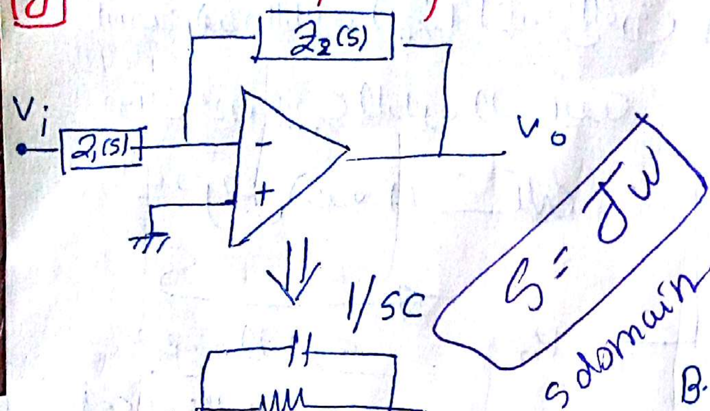
المطلوب

Problem (14)

9 active low pass filter

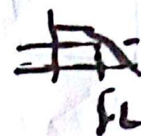
يعني ايه L.P.F

في هذا النوع من الـ op-amp نقوم باستخدامه كأنه دايره Low pass filter بحيث يسمح بمرور إشارات ذات تردد صغير ويقوم بعدم مرور الإشارات ذات التردد العالي ومدى هذه الاشارات التي يتم تحديده من الـ B.W للـ filter



$S = j\omega$ s domain

$1/sC$



هنا LPF

f_L

$BW = f_L - 0 = f_L$

$f = \frac{1}{2\pi RC}$

$\uparrow RC \rightarrow BW \downarrow$

R_1, R_2, U_o, V_i

$$A_U = \frac{U_o(s)}{V_i(s)} = -\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)}$$

$Z_1(s) = R_1$

$Z_2(s) = \frac{1}{sC} // R_2$

$$A_U = \frac{-\frac{1}{sC} \times R_2}{\frac{1}{sC} + R_2} \times \frac{1}{R_1} = -\frac{R_2}{sCR_2+1} \times \frac{1}{R_1} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{sCR_2+1}$$

8 =

$$A_U = -\frac{R_2}{R_1}\left[\frac{1}{1+\frac{s}{\omega_H}}\right]$$

$f_H = f_L = \frac{1}{2\pi RC}$

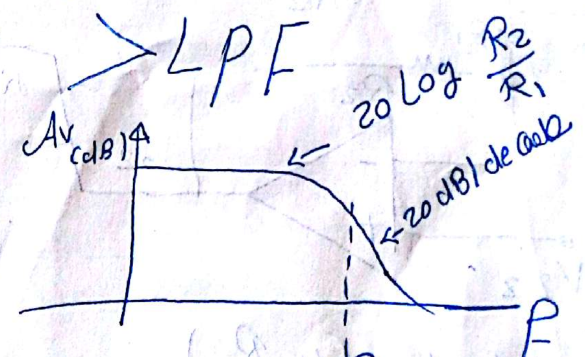
$RC = \frac{1}{2\pi f} = \frac{1}{\omega}$

$S = 0$ $\quad A_U = -\frac{R_2}{R_1}\left[\frac{1}{1+0}\right] = -\frac{R_2}{R_1}$

$S = \infty$ $\quad A_U = -\frac{R_2}{R_1}\left[\frac{1}{1+\infty}\right] = 0$

$\rightarrow$ LPF

لايجاد الـ Gain عند اي تردد



$f_C = \frac{1}{2\pi RC}$

$$\left|\frac{V_o}{V_{in}}\right| = \frac{\frac{R_2}{R_1}}{\sqrt{1+\omega^2C^2R_2^2}}$$ ← مقدار

$A_{U\,mid} = \frac{R_2}{R_1}$

$$\phi = 0 - \tan^{-1}\omega C R_2$$ ← الزاوية

$\hookrightarrow$ problem (12)

$A_U = -\frac{R_2}{R_1}$ midrange

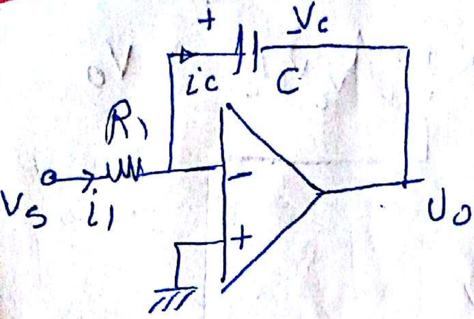
f_C ... اعلى من ... A_{Um}

$A_U = \frac{U_o}{U_i} = \frac{Z_2}{Z_1}$

$Z_2 = \frac{1}{sC} // R_2$ $\quad Z_1 = R_1$ $\quad S = j\omega$

h) The integrator

ط) في هذا الجزء سوف نقوم بالتعرف على الدايره التي تقوم بعمل عمليه التكامل للدخل



$$i_c = C\frac{dV_c}{dt}$$

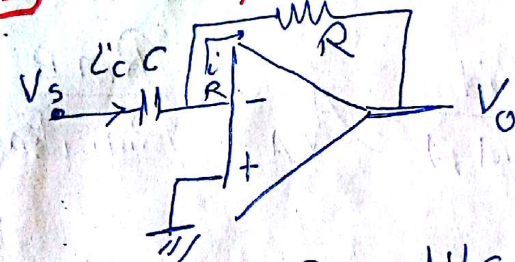
$R_1C = \tau$ Time Constance

$$V_o(t) = -\frac{1}{RC}\int V_s(t)\,dt + V_o(0)$$

$V_o(0)$ → الشحنه الابتدائيه على المكثف

→ problem (8) و (9)

I) The Differentiator

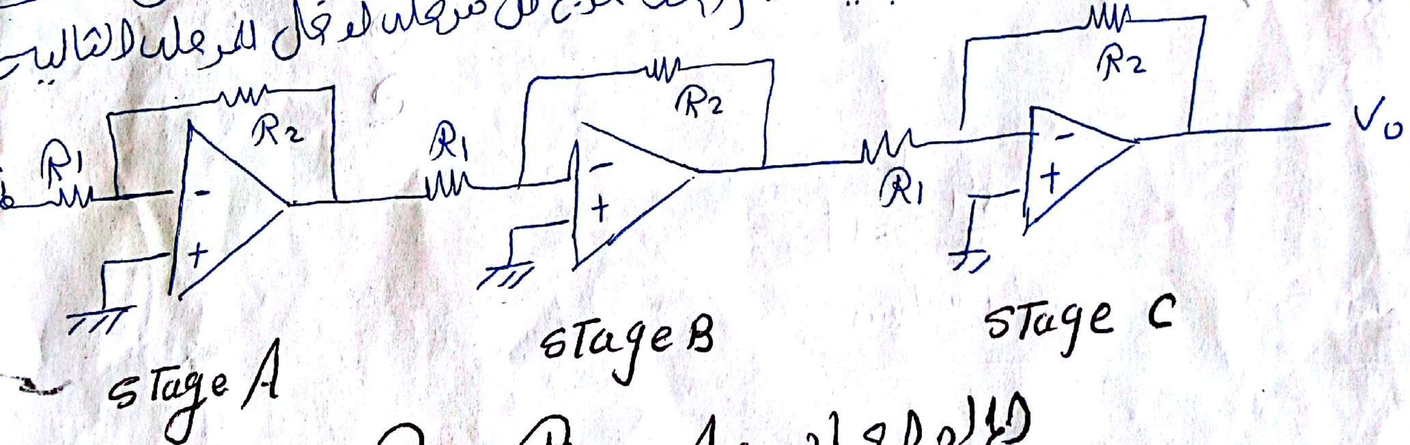


$$V_o = -RC\frac{dV_s}{dt}$$

↳ problem (10), (11)

Cascaded Amplifier

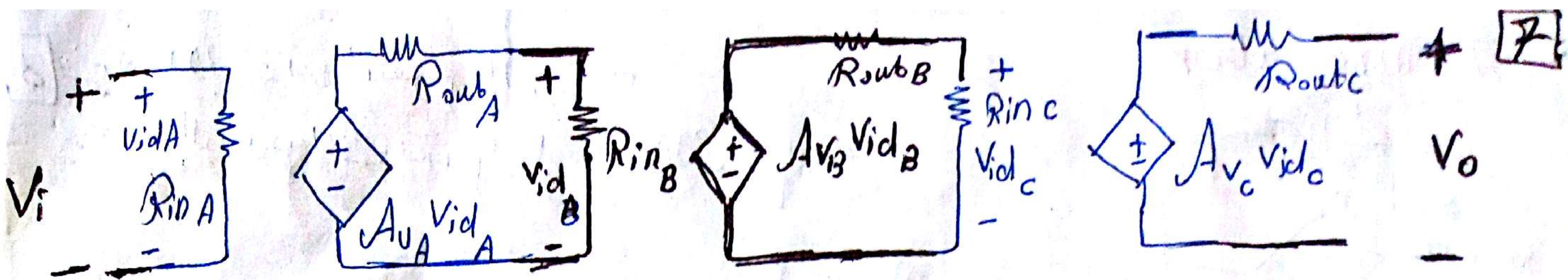
في هذا الجزء سوف نقوم بالتعرف على كيفيه الحصول على الـ gain الخاص بتوصيل أكثر من مرحله للـ op-amp مع بعضها بحيث يتم أخذ خرج كل مرحله كدخل للمرحله التاليه



المراد إيجاد R_o, R_{in}, A_v

$R_{in} = R_{in\,a}$

$R_o = R_{o\,C} = 0$



$$Av = \frac{Vo}{Vi} = \frac{Vo}{Vidc} \times \frac{Vid\,c}{VidB} \cdot \frac{VidB}{VidA} \cdot \frac{VidA}{Vi}$$

$$Vo = A_{v_C}\, Vidc \rightarrow \frac{Vo}{Vidc} = A_{v_c}$$

$$Vidc = A_{V_B}\, VidB \times \frac{Rinc}{Rinc + RoutB} \longrightarrow \frac{Vidc}{VidB} = A_{v_B} \cdot \frac{Rin\,C}{Rinc + RoutB}$$

$$VidB = A_{v_A}\, VidA \times \frac{RinB}{RinB + RoutA} \rightarrow \frac{VidB}{VidA} = A_{vA} \cdot \frac{RinB}{RinB + RoutA}$$

$$VidA = Vin \times \frac{RinA}{RinA + 0} \Rightarrow VidA = Vin$$

$$Av = A_{vA} \cdot \frac{RinB}{RinB + RoutA} \cdot A_{vB} \cdot \frac{Rinc}{Rinc + Ro_B} \cdot A_{v_C} \neq 1$$

problem (15)